

EL DISEÑO Y TESTEO DE APLICACIONES DIDÁCTICAS PARA DISPOSITIVOS MÓVILES: EL METACUBO COMO CASO DE EJEMPLO DE INVESTIGACIÓN APLICADA

THE DESIGN AND TESTING OF DIDACTIC APPLICATIONS FOR MOBILE DEVICES: THE METACUBE AS AN EXAMPLE OF APPLIED RESEARCH

Josep Maria Blanco Pont | josepmaria.blanco@uab.cat |
y Josep A. Esteve | josepantoni.esteve@uab.cat | Universidad Autònoma de Barcelona

Resumen: Se estudia el diseño de un proceso de transformación conceptual y de investigación aplicada. Se ha pasado de la discusión del concepto Metacubo a su conversión en un *software* cuyos resultados pueden aplicarse a la gestión de la información en muchos campos y que ya ha encontrado una de sus mutaciones en aplicaciones y juegos didácticos para *tablets* como el Zong-Ji Kids, que estimulan el trabajo mental en niños de 6 a 9 años. El juego se sometió en 2012 a un proceso de testeo observacional en laboratorio a 80 niños de 5 a 13 años. Los resultados indican que la simplificación simbólica de los elementos de diseño y una interfaz fácilmente comprensible favorecen la aceptación de la aplicación y la asimilación de conceptos vinculados con el aprendizaje y refuerzo de conceptos de cálculo y geométricos. Entre ellos, la suma y la resta o los conceptos positivo, negativo, incremento, disminución, rotación creciente o decreciente, facetas contiguas y contrarias y representación de un polígono con diferentes niveles de complejidad. Cinco años más tarde, el análisis *big data* de la aplicación *online* indica que las decisiones de diseño tomadas siguen siendo acertadas. **Palabras clave:** investigación aplicada; juegos matemáticos para *tablets*; testeo de aplicaciones con niños, concepto Metacubo.

Abstract: We present a case of designing a conceptual transformation process and of applied research. We have moved from the design and discussion of the Metacube concept to its conversion into a software whose results can be applied to information management in many fields, and in fact has already found one of its conversions or mutations in applications and educational games for tablets as the Zong-Ji Kids, which stimulate mental work in children aged 6 to 9 years. The game underwent in 2012 to a process of observational testing in a laboratory with 80 children, aged 5 to 13 years. The results indicate that the symbolic simplification of the elements of design and an easily understandable interface help to understand the application and assimilation of concepts linked with the learning and reinforcement of calculation and geometric concepts. Some of them are addition and subtraction or positive, negative, increment, decrease, increasing or decreasing rotation, contiguous and opposing facets and representation of a polygon with different levels of complexity. Five years later, the big data analysis of the online application show that the design decisions made were appropriate. **Keywords:** applied research; mathematical games for tablets; application testing with children, Metacube concept.

1. Introducción

En el diseño de una aplicación deben considerarse dos tipos de factores o variables cuya coincidencia y combinación afectan a la interacción del usuario con la interfaz. Por un lado, los factores de lenguaje que influyen sobre la propuesta comunicativa y permiten generar una buena navegabilidad. Por otro, los factores tecnológicos que intervendrán en la arquitectura de la aplicación. Esto nos animó a trabajar con el siguiente planteamiento inicial: la simplificación simbólica, unida a una rápida comprensión de la propuesta de navegabilidad que propone una interfaz, influye en la velocidad de adopción de una aplicación por el usuario. Una fácil asimilación ayudaría a crear, por tanto, una actitud favorable hacia el producto y los contenidos, en nuestro caso educativos, que se presentan.

Proponemos comprender el producto final –un aplicativo determinado, el juego Zong-Ji Kids, para dispositivos móviles (*tablets*)– como el resultado del trabajo de contraste entre el desarrollo conceptual de una innovación (y su transformación en aplicación didáctica apta para niños de 7 a 9 años) y el procedimiento de testeo y validación de aquella llevado a cabo.

Como veremos, el Zong-Ji Kids es una de las adaptaciones del Metacubo, concepto que abordaremos más adelante y que se sustenta a partir de planteamientos teóricos sometidos a discusión y adaptación en cada una de las etapas del proceso creador. Se esperaba conseguir la adopción, o asimilación, según

Piaget (1963), de una propuesta de navegación y estructuración de la información digital interactiva innovadora para *tablets* por el usuario –los niños a los que va destinada la aplicación–, teniendo en cuenta su proceso cognitivo.

En el diseño de la innovación y de la aplicación se prestó atención a cómo se empleaba la herramienta de acuerdo a los contenidos vistos como instrumentos que ayudaban a la adquisición y refuerzo de conceptos matemáticos y al ejercicio mental para niños de 6 a 9 años. La apariencia de videojuego debía cumplir también las expectativas de diversión (Klawe, 1998).

Sometemos, pues, a consideración el planteamiento teórico de cada etapa, así como de las fases de testeo –en las que se ha optado por un modelo de diseño centrado en el estudiante (Soloway, Guzdial y Hay, 1994; Nettet y Large, 2004) con usuarios infantiles– antes de dotar a la aplicación su forma definitiva. Creemos que el análisis y contraste entre la fase de ideación conceptual y el test de producto son elementos consustanciales de toda innovación.

Desde 2012, año en que apareció la aplicación, hasta hoy se han realizado una revisión de los trabajos académicos sobre aplicaciones similares y el seguimiento de los datos sobre usabilidad de la misma aplicación *online*, gracias al análisis *big data*. Cinco años más tarde, –tiempo previsto para posibles modificaciones– el contraste de todas esas fuentes nos anima a afirmar que las decisiones de diseño de la aplicación tomadas y basadas en las sesiones de testeo son coherentes y robustas y que las aportaciones realizadas siguen vigentes y son aplicables para el desarrollo de aplicaciones similares.

2. El nacimiento del concepto Metacubo

Para poner en marcha el proceso creador de la aplicación Zong-Ji Kids nos interesaba, de un lado, conocer aquellas cuestiones relacionadas con el procesamiento cognitivo en la interacción con el aplicativo del individuo al que iba dirigido. De otro, ampliar el conocimiento sobre diseño de interfaz y usabilidad, con la intención de proponer los parámetros básicos que debía respetar la propuesta a desarrollar y que pudieran ser fácilmente sometidos a control. Esto permitiría realizar cambios con facilidad, adaptados a las necesidades y exigencias del usuario final.

A continuación, expondremos las bases teóricas en cada uno de esos dos ámbitos que sirvieron de base para el desarrollo del concepto Metacubo y su adaptación al usuario para el que se diseñó la aplicación.

3. El marco cognitivo del usuario del Zong-Ji Kids

En principio, se había pensado que la dificultad planteada en el juego pudiera resultar apta y estimulante para niños de 6 a 9 años. La idea era proponer juegos

matemáticos sencillos en los que el joven con una edad comprendida en esa horquilla debe resolver operaciones como sumas y restas con varios niveles de complejidad o dificultad.

No es hasta los 11 años, aproximadamente, cuando los niños pueden realizar operaciones más complejas como multiplicar y dividir (Ginsburg y Oppen, 1988; Cook, J. L. y Cook, G., 2005). El objetivo era fomentar un aprendizaje y refuerzo lúdico, pero a la vez afianzador de esas operaciones básicas de acuerdo a los conocimientos sobre procesamiento cognitivo disponibles sobre los niños de la edad especificada.

Durante la etapa que Piaget denomina pre-operacional, —desde los 2 hasta los 7 años— el niño tiene adquiridos el lenguaje y la función simbólica (Piaget, 1963). Puede buscar objetos ocultos y realizar juego simbólico (Piaget, 1961). Resuelve sus dificultades para entender las diferencias entre volumen y dimensión (O'Bryan y Boersma, 1971; Pavelich, 1984; Wankat y Oreovich, 1993). Aprende durante este período a entender los criterios para ordenar objetos de acuerdo a diferentes parámetros como la longitud o el grosor. El aspecto mágico de las cosas y los hechos aún le resultan verosímiles (Cook, J. L. y Cook, G., 2005). Empieza a entender la dimensión del bien o del mal (Simatwa, 2010) pero lo traduce en términos de la dimensión del mal causado (Piaget, 1963).

En el período de operaciones concretas (*concrete operations period*), de los 7 a los 11 años —para el que está pensada la aplicación que nos ocupa—, el niño empieza a resolver las dificultades sobre dimensiones y volúmenes de la etapa anterior. También emplea operaciones mentales para solucionar problemas (Simatwa, 2010). Es capaz de entender que los demás pueden tener otro punto de vista sobre las cosas y eso le lleva a darse cuenta de que detrás de una acción puede haber una intención previa. Durante ese período aumenta el control del tiempo. El joven puede considerar más de una dimensión a la vez, aunque puede tener dificultades si debe realizar tareas que exijan algo de abstracción (Anita, 2004). Es capaz de desarrollar habilidades metacognitivas (entiende algo de lo que conoce y empieza a entender cómo aprende cosas). También en ese período aumenta su capacidad para memorizar tareas y recorridos.

Las experiencias vividas por los niños durante esas edades permiten dar sentido a las nuevas situaciones, con las que se establece una comparación. El reparto de la información a través de las redes neuronales permite conectar lo nuevo con lo ya asimilado, de manera que cada experiencia se convierte en una oportunidad de aprendizaje (Alexander, Armstrong *et al.*, 2009). Esto alimenta la idea de que el aprendizaje en cada situación resulta más fácil si los conceptos básicos se refuerzan a través de experiencias en diferentes ámbitos (Schmidt y Bjork, 1992; Kornell y Bjork, 2008).

En la actualidad, la precocidad de acceso a las tecnologías en general y a los dispositivos con los que los niños pueden interactuar con juegos u otros contenidos es elevada (Rideout, Vandewater y Wartella, 2003; Chuang y Chen, 2009). En varios trabajos se constata que los videojuegos pueden influir en el desarrollo de aspectos relacionados con la visión, la atención, la cognición y el control de actividades motoras (Jackson *et al.*, 2011; Johnson, Christie y Yawkey, 1999; Lisi y Wolford, 2002; Green y Bavelier, 2008; Greenfield, 2009; Green y Seitz, 2015) o con habilidades visuales-espaciales (Green y Bavelier, 2003, 2006 y 2007; Donohue, Woldorff y Mitroff, 2010). Esto puede guardar relación con un buen rendimiento en ciencia, ingeniería o matemáticas (Gee, 2003).

Por esos motivos, el potencial de los juegos serios (*serious games*) se ha visto como una posibilidad de mejorar la educación y la motivación en los estudios de los ámbitos de las ciencias, tecnologías, ingenierías y matemáticas. Esta idea se recogía ya en documentos de comunidades científicas, como por ejemplo en el informe que la Federation of American Scientists publicó en 2006 y en el que se apostaba claramente por aprovechar su impacto con esos objetivos. Estas sugerencias fueron recogidas por el Consejo Presidencial de Asesores en Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos, que en los informes de 2010 y 2012 incide en el papel que los videojuegos pueden tener para mejorar el estudio y la motivación en matemáticas, entre otras materias (President's Council of Advisors on Science and Technology, 2010 y 2012).

Sin embargo, el acceso a un videojuego inadecuado a una edad temprana puede no tener efectos o dar lugar a rendimientos negativos no previstos (Owen *et al.*, 2010; Zimmerman *et al.*, 2007). Existe, además, una importante literatura sobre los efectos nocivos ante la exposición de contenidos violentos o sexistas en los videojuegos (Anderson *et al.*, 2010; Anderson, Shibuya, Ihori, Swing, Bushman, Sakamoto *et al.*, 2010; Salceanu, 2010; Arriaga, Monteiro y Esteves, 2011; Anderson y Warburton, 2012; Hasan, Begue, Scharkow y Bushman, 2013; Huntemann y Payne, 2015).

Por ello deben realizarse todas las advertencias posibles sobre la adecuación de un juego a una horquilla de edad determinada y recordar que siempre debe existir cierto control y consentimiento parental. Los creadores y desarrolladores de videojuegos deben respetar las consideraciones y códigos elaborados por entidades reguladoras de contenidos y advertencias sobre seguridad y usabilidad de aplicaciones¹.

[01] La Pan European Game Information (PEGI) en Europa, Entertainment Software Rating Board (ESRB) en Estados Unidos, Computer Entertainment Rating Organization (CERO) en Japón, Office of Film and Literature Classification (OFLC) en Australia, Unterhaltungssoftware Selbstkontrolle (USK) de Alemania, etc.

El videojuego de calidad es, por lo general, un producto comercial de elevados costes de producción (Klopfer, Osterweil y Salen, 2009; De Prato, Feijoo y Simon, 2014) que tiene que hacerse un espacio, no lo olvidemos, en una complicada situación oligopólica de mercado (Marchand y Hennig-Thurau, 2013). El creador desea no sólo un premio moral, traducido en la popularidad alcanzada por la aplicación, sino que como mínimo también espera que el esfuerzo realizado se vea compensado por un éxito en las ventas.

Entraría en la lógica del llamado *edutainment*, término acuñado durante los años ochenta y que representa la suma de los conceptos *education* y *entertainment*, aplicado sobre todo a la venta de videojuegos (Peterson *et al.*, 2008). Muchos títulos con contenidos entendidos y presentados como educativos o que pretendían fomentar el ejercicio mental empleaban la misma agresividad comercial que los que no lo eran y esto llevó durante la década de los años noventa a fomentar una actitud crítica hacia lo que podía entenderse como un excesivo mercadeo de algo tan serio como la educación (Brody, 1993; Sheff, 1993; Leyland, 1996 y Egenfeldt-Nielsen, 2008).

En cualquier caso, el productor de contenidos educativos debe, por esa misma razón, poner empeño en vencer un cierto escepticismo crítico elaborando aplicaciones de calidad que garanticen a los usuarios –o a los responsables de la adquisición del producto–, que si se les dice que van a aprender algo lo harán de verdad.

El paradigma que se elige para la elaboración de un producto tan sensible como pueda ser una aplicación para ejercitar la mente o para educar –ya sea a jóvenes o a ancianos– es importante. La excelente revisión de Egenfeldt-Nielsen (2006) nos ayuda a defender el Metacubo como una manera cognitivista y constructivista de entender la relación del niño con el juego Zong-Ji-Kids en la fase de presentación del producto en el mercado. Compartimos con Kafai (2006) la idea de que en los juegos construccionistas el papel del estudiante está más comprometido en la elaboración del juego, de modo que su participación y opinión es importante en el proceso de testeo, cuestiones que se tuvieron en cuenta en el planteamiento del Zong-Ji Kids.

Este pensamiento debe verse reflejado en la aplicación. La filosofía –escrita también– debería acompañar la génesis de la innovación o del producto de manera que, parafraseando a Norman (1986), el resultado final se convierta en metáfora o símbolo de cómo el creador entiende al usuario a través, en este caso, de un sistema HCI (Human-Computer Interaction). Sin embargo, la investigación de Kebritchi e Hirumi (2008) indica cierta tendencia de los creadores de no informar de los fundamentos pedagógicos en los que han basado el planteamiento y estructura de los videojuegos.

En el diseño del videojuego debe pensarse en las maneras de usar la aplicación. El tamaño de una pantalla, por ejemplo, puede permitir que más de un individuo participe activamente o como espectador en la resolución de una prueba. Estas cuestiones aumentan las posibilidades de interactividad con la interfaz y deben valorarse en los planteamientos de los juegos y su solución informática, que a veces puede resultar muy compleja de acuerdo a las características de almacenamiento y velocidad de procesamiento de la información del dispositivo.

Existe ya una extensa literatura de análisis de videojuegos infantiles con vocación didáctica con interesantes aportaciones y reflexiones sobre estas cuestiones (Bellotti *et al.*, 2002; Chiasson y Gutwin, 2005a y 2005b; Xu, 2005; Mazzozone *et al.*, 2007; Klopfer, Osterweil y Salen, 2009). A pesar de todo, autoras como Kafai (2006) apuntaban que se sabía poco de qué cosas hacen que un juego educativo sea bueno para aprender y que la revisión de veinte años de publicaciones educativas arrojaba pocas aportaciones sobre cuestiones motivacionales y aspectos sociales de los juegos para el aprendizaje.

Conocido el marco cognitivo general, realizamos una búsqueda de investigaciones que analizaran videojuegos educativos que fomentaran el ejercicio mental (sobre todo mediante la realización de operaciones matemáticas básicas) y que estuvieran destinados a niños que se encontraran en la horquilla de edad elegida. Nos interesaba también saber las experiencias en las que la interacción se llevara a cabo tocando la pantalla del dispositivo, puesto que este sería el modo como el niño interactuaría con la interfaz del juego². El objetivo era descubrir los parámetros que debían considerarse en el diseño de la aplicación, luego del contraste y la realización de cambios y mejoras en el proceso de observación y testeo.

4. Las matemáticas en los videojuegos

Existen varios ejemplos de investigaciones realizadas con videojuegos que intentan promover el conocimiento matemático. Eliëns y Ruttkay (2009) presentan una taxonomía de siete tipos de juegos relacionados con matemáticas basada en el tipo de acciones que pueden realizarse con contenidos matemáticos: juegos para practicar tareas rutinarias, entornos virtuales de manipulación de *try-out*, simulaciones para hacer conjeturas, juegos estratégicos (combinatorias y manipuladoras), visualización de estructura(s) (patrones de la naturaleza), exploraciones en la geometría 2D y 3D, y arte generativo (visual).

La geometría ha encontrado en los ordenadores a un aliado para generar polígonos de dos y tres dimensiones y permitir experimentar con ellos (Sedighian

[02] Se desestimó el uso del puntero y se apostó por el *touching*, simulando el desplazamiento de la interfaz tangible sensible, como forma de manipulación del símbolo y facetas del metacubo.

y Klawe, 1996; Confrey *et al.*, 2006; Sinclair y Jackiw, 2007). No hay que olvidar el esfuerzo realizado por los trabajos pioneros en buscar una acomodación de la herramienta en la enseñanza empezando por los desarrolladores del Logo³ y del Turtle Graphics, a finales de los años sesenta o los desarrolladores de propuestas aún disponibles como el SymCalc (Roschelle, *et al.*, 2000), útiles para trabajar ejercicios matemáticos en el aula ante ordenadores.

Otros ejemplos son las aplicaciones creadas en el seno del Mind Research Institute de California⁴ empleando el *software* visual instruccional como herramienta de trabajo, como el ST Math. Para sus fundadores, el razonamiento espacial-temporal es la capacidad innata para visualizar y manipular imágenes a través de una secuencia de pasos en el espacio y el tiempo –un proceso fundamental para la resolución de problemas en matemáticas, ciencias y otras áreas del currículo (Hu, *et al.*, 2004a y 2004b)–. El lenguaje metafórico planteado por los juegos se convierte en una propuesta alternativa más amable al lenguaje matemático tradicional, que puede convertirse en barrera para algunos estudiantes.

Una investigación sobre los efectos del ST Math (Tran *et al.*, 2012) realizada mediante un cuestionario sobre una muestra de 325 profesores de 44 escuelas de segundo al quinto grado (7 a 11 años) en la zona occidental de los Estados Unidos demuestra que la experiencia del docente en la enseñanza de las matemáticas es un factor decisivo para conseguir una buena comprensión de los conceptos en la implementación de dicho *software* en las clases. Se cumple que la instrucción basada en el empleo del ordenador (*computer based-instruction*) no puede sustituir al profesor pero sirve de complemento adicional para facilitar el aprendizaje (Schofield *et al.*, 1994).

La experimentación con videojuegos que traten los conceptos que se abordan para las edades para las que se piensa la aplicación Zong-Ji Kids no es muy elevada. Existe aún una gran dificultad para saber hasta qué punto el trabajo realizado con videojuegos en entornos de aprendizaje ayuda o impide la asimilación clara de conceptos a pesar de que se han intentado realizar mediciones del rendimiento de forma experimental. Intervienen demasiados factores internos y externos como para dejar en manos de una sola herramienta el éxito del aprendizaje y consolidación de un concepto matemático. Defendemos una complementariedad de fuentes entre las que el juego puede ser una más y para esto es para lo que se pensó el Zong-Ji Kids.

[03] Logo fue creada en 1967 por Daniel G. Bobrow, Wally Feurzeig, Seymour Papert y Cynthia Solomon para un uso educacional desde un punto de vista de la enseñanza constructivista.

[04] Según se informa en su web, la División de Investigación del MIND Research Institute's es una organización multidisciplinar y colaborativa dedicada a la investigación básica en neurociencia, matemáticas y educación. Sus investigaciones les permiten aportar aplicaciones educacionales y clínicas: <http://www.mindresearch.net/index.php>

Una de las aportaciones que recogimos es la que realizó Klawe en el seno del E-GEMS⁵ sobre los aspectos a los que debe prestarse atención en el diseño de videojuegos que proponen trabajar con conceptos y ejercicios destinados a mejorar el aprendizaje de las matemáticas. Según esta investigadora deben considerarse las siguientes cuestiones: contenidos que hay que aprender, la actividad en la que se produce el aprendizaje, modelo(s) de aprendizaje subyacentes, las representaciones de los conceptos, las interfaz que se utilizan para manipular conceptos y objetos, estructura de navegación y secuenciación de actividades, sistemas de retroalimentación y recompensa, elementos de entretenimiento tales como gráficos, sonido, historia, personajes y humor (Klawe, 1998).

Como comentan Kim y Chang (2010) en su revisión sobre rendimiento académico y juegos de ordenador, varias investigaciones inciden en el uso de los videojuegos para trabajar con las propiedades afectivas y generar una actitud positiva hacia el aprendizaje. Citan, entre otros, los dos trabajos de Ke realizados en 2008, la investigación de Ke y Grabowski (2007) y la de Vogel *et al.* (2006). La mayoría de ellos habla de experiencias realizadas con alumnos de cuarto y quinto grado (9 a 11 años) con resultados diversos. Mientras que los dos últimos trabajos aportan indicios de una mejora significativa en los resultados obtenidos en matemáticas por estudiantes que emplearon videojuegos respecto de los que no lo hicieron, los estudios de Ke (2008a y 2008b) no mostraron que el uso de videojuegos tuviera un efecto significativo sobre la mejora en el aprendizaje.

La investigación de Kim y Chang (2010) se llevó a cabo con estudiantes de cuarto grado (9-10 años) analizando los efectos de videojuegos matemáticos con un foco especial en grupos minoritarios de género y lenguaje. Los resultados indicaban que los estudiantes masculinos de minorías lingüísticas de habla principal no inglesa y que habían manifestado un determinado uso de videojuegos obtenían mejor rendimiento en matemáticas que los estudiantes de habla inglesa que no los empleaban.

En el estudio de Rosas *et al.* (2003), realizado con estudiantes de primer y segundo grado (6 a 8 años), sí que el empleo de videojuegos educativos manifestaba un efecto positivo en la motivación de los estudiantes. En este trabajo, se emplearon cinco videojuegos diseñados para ser implementados en consolas Gameboy de Nintendo y se testaron con 1.274 estudiantes de escuelas chilenas en desventaja económica.

En aquella investigación (Rosas, *et al.*, 2003), luego de comparar los resultados en matemáticas, lectura, comprensión y ortografía entre los estudiantes de los grupos experimentales e internos (que emplearon los videojuegos una

[05] E-GEMS, *the Electronic Games for Education in Math and Science project*, proyecto centrado en ciencia de la computación y la educación en matemáticas pensado para el trabajo colaborativo entre profesores, niños y desarrolladores de juegos profesionales.

media de 30 horas durante tres meses) con los grupos externos se mostraba una diferencia significativa, de modo que se redundaba en la idea de que el empleo de los videojuegos bajo condiciones controladas por los docentes mejoraba la motivación de los estudiantes. En cuatro de los videojuegos –cada uno con unos protagonistas y un fondo narrativo diferente, aunque con el aspecto similar al de otros videojuegos de Nintendo de la época– se trabajaban distintos conceptos matemáticos: secuencias numéricas, suma, resta, identificación, símbolos mayor-igual-menor ($> = <$) y reconocimiento de figuras geométricas.

Por lo que se refiere a la experimentación con *tablets* que contuvieran videojuegos con contenidos matemáticos, el vacío de trabajos de análisis, investigación o testeo de productos o aplicaciones de juegos matemáticos para niños –estén pensados para su uso en espacios docentes o no– era evidente antes del 2011, año de aparición del Zong-Ji y del desarrollo de la versión para niños Zong-Ji Kids. Sin embargo, se produce un aumento de ese tipo de aportaciones científicas a partir de ese año⁶ y, sobre todo, del siguiente.

En cualquier caso, sí se despertaba el interés por ver de qué modo las *tablets* pueden ayudar a mejorar el aprendizaje de las matemáticas desde edad temprana hasta la universidad, superando la etapa de los ordenadores en el aula, sobre la que ya empezaba a existir una literatura en auge⁷.

En octubre de 2010, IPMG Publishing celebraba que su juego Tic Tac Math Universal optimizado para el iPad se presentaba en el National Council for Teachers of Mathematics (NCTM) de San Diego, California. El juego, basado en la idea del Tres en raya (Tic Tac Toe), ofrecía posibilidades de plantear situaciones con ejercicios donde debían ejercitarse la suma, la resta, la multiplicación o la división.

Cabe destacar también, aunque no se trate de un juego, el experimento realizado por Toennies, Burgner, Withrow y Webster, y presentado en junio de 2011 para el desarrollo de una aplicación que pretendía servir para transmitir conceptos matemáticos, que se han estudiado fundamentalmente siempre de forma visual, mediante el sonido y el tacto, a través de pantallas y la retroalimentación háptica, pensada especialmente para estudiantes ciegos o con la visión disminuida (Toennies, *et al.*, 2011).

Varios de los otros trabajos elaborados hasta 2011 procuraban ofrecer herramientas para sacar un provecho a las posibilidades de anotación y elaboración de

[06] La aparición en 2010 del iPad y el desarrollo del modelo de negocio de aplicaciones para este dispositivo lo convierte en un soporte bastante elegido para su implementación en la docencia, lo cual lleva, por su parte, al incremento de aplicaciones para niños con objetivos diversos, entre los cuales también se hallan los pedagógicos y, por ende, a la experimentación de su uso con fines docentes en clase.

[07] Prueba de ello pueden ser las revisiones realizadas desde el proyecto DER-NSW durante los años 2009 y 2010.

ejercicios sobre pantallas que pueden ser proyectadas en el aula (Golub, 2004; Olivier, 2005), incluso en casos de explicación y resolución de problemas en educación universitaria a distancia (Galligan, Loch, McDonald, y Taylor, 2010), citando en su revisión casos de investigadores que experimentan en áreas como ingeniería, computación y química (Al Zoubi, Sammour y Al-Zoubi, 2007 y Kohorst y Cox, 2007), destacando los materiales de Loch con las matemáticas como protagonistas (Loch, 2005 y Loch y Donovan, 2006) pero pensados especialmente para estudiantes de grado o licenciatura.

Cabe mencionar el trabajo de Falloon (2013) que se planteaba cómo el diseño y contenido de aplicaciones relacionadas con habilidades destacadas en el curriculum de Nueva Zelanda afectaban al modo de aprendizaje de jóvenes estudiantes de cinco años que las utilizasen de manera independiente y sin la presencia del maestro para la resolución de problemas en la escuela. Sólo tres de las 29 aplicaciones empleadas en este estudio con iPads exigían el trabajo con conceptos matemáticos básicos. En ausencia de un docente, los alumnos decidían no avanzar a niveles más altos o bien respondían al azar. Una de las conclusiones del trabajo es que el diseño de las aplicaciones debería emular las estructuras de aprendizaje y las pautas proporcionadas por un maestro en el aula. A falta de estos, se detectan problemas en la autogestión y en la independencia del aprendizaje de los alumnos, lo que puede derivar en interacciones improductivas con la aplicación y, apuntaríamos, con la consolidación de conceptos y el aprendizaje. El autor apunta en sus conclusiones en la necesidad de la colaboración entre profesores y desarrolladores para mejorar los diseños de aplicaciones que sirvan para aprender.

En muchas experiencias revisadas se apuntaban algunas cuestiones como el papel central que juega el tutor en la dinámica de aprendizaje y en la motivación del trabajo de conceptos matemáticos con *tablets* y las cualidades que representa la herramienta para el aprendizaje cooperativo, cuestiones a considerar para el diseño del juego y que se estudiaron durante el procedimiento de testeo.

En los últimos años se ha constatado un interesante aumento de trabajos sobre gamificación del aprendizaje (Landers y Callan, 2011; Lee y Hammer, 2011; Muntean, 2011; Kapp, 2012; Cheong, Filippou y Cheong, 2014). La enseñanza no ha quedado al margen de la tendencia a aportar elementos típicos del juego para aprender y afianzar el conocimiento sobre matemáticas aprovechando cualquier plataforma (Goehle, 2013; Ensley y Kaskosz, 2013; Zhang y Loeb, 2013; Lameris y Moumoutzis, 2015). El sector educativo, sin embargo, parece apostar por el empleo de los llamados juegos serios (*serious games*) como instrumentos capaces de mejorar el aprendizaje de las matemáticas. Algunos autores han desarrollado ya propuestas iniciales que tienen que ayudar a realizar un diseño

efectivo de los mismos (Chorianopoulos y Giannakos, 2014; Álvarez-Rodríguez, Barajas-Saavedra y Muñoz-Arteaga, 2014). Ante este panorama, hay que contar con la posibilidad híbrida que representa la gamificación de los juegos serios matemáticos. En cualquier caso, no debe confundirse el uso de estrategias lúdicas para incentivar una tarea con la filosofía de aquellas aplicaciones que ya nacen como juego y con la intención de promover un aprendizaje, como es el caso del Zong-Ji Kids.

5. Condicionantes para la adecuación de la propuesta al 'target' elegido

La mayoría de investigaciones consultadas realizaban experimentaciones, algunas de ellas en laboratorio y en un período determinado de tiempo y con estudiantes que no siempre coinciden con la horquilla de edad elegida para este estudio. A pesar de la existencia de esas referencias, nos correspondía estudiar y evaluar la aceptación que el Zong-Ji Kids podía tener con la audiencia para la que estaba pensada la aplicación, teniendo en cuenta el uso que en realidad llevan a cabo los niños de los juegos y las tecnologías de su entorno. El juego debe ofrecer unos mínimos de refuerzo y consolidación de conceptos, pero no puede garantizar el resultado alcanzado y convertirse en el único responsable de la interiorización de los mismos y sus aprendizajes.

Así, el Zong-Ji Kids se planteaba como un juego que estimula el ejercicio mental individual y puede reforzar el aprendizaje de conceptos matemáticos básicos como la suma y la resta, los conceptos positivo, negativo, incremento, disminución, rotación creciente o decreciente, facetas contiguas y contrarias y representación de un polígono con diferentes niveles de complejidad.

Puede, por tanto, tener funciones educativas si es usado como complemento en entornos instruccionales, aunque no está pensado para ser utilizado en estos fundamentalmente. El tiempo disponible para la resolución de las operaciones se estimaba como un parámetro opcional más. Se quería estudiar si la usabilidad del juego, producto de la combinación del planteamiento de diseño y la navegabilidad propuesta por la estructura básica que proporciona la información de la interfaz (el Metacubo), ayudaban al trabajo con los conceptos matemáticos básicos que se presentaban (suma y resta). También quería valorarse el tiempo mínimo para la instrucción básica sobre el funcionamiento del juego por parte de un adulto o de las instrucciones que acompañaban a la aplicación, de manera que se solventaran todas las dudas con el soporte final que se da al usuario o a quien decide sobre su adquisición. Esta última cuestión se valoró en la fase de testeo.

También se analizaría la eficacia del Metacubo como herramienta para la navegación entre dígitos y cuestiones relacionadas con el diseño que convirtieran al Zong-Ji Kids en una experiencia lúdica agradable para mejorar el aprendi-

zaje y el refuerzo de conceptos de cálculo y geométricos como son los números, la suma, la resta, la rotación, los conceptos vertical y horizontal, la secuencia, la relación numérica, el resultado y la agrupación, entre otros, todos ellos muy valorados por los padres para la educación de sus hijos, como tuvimos ocasión de comprobar en las sesiones de testeo de la aplicación.

Esto llevó a distinguir dos tipos de ámbitos en los que debían presentarse soluciones que fueran compatibles y que permitieran que la comprensibilidad de la propuesta fuera elevada: el ámbito del lenguaje y el ámbito tecnológico. Los signos y símbolos y el código visual y auditivo debían colaborar en una percepción que favoreciera un uso adecuado a los objetivos formativos y de entretenimiento.

Por otra parte, el *software*, ajustado a los condicionantes tecnológicos del sistema operativo del soporte empleado, del *hardware* —en este caso las *tablets* con IOs— y a las características físicas del mismo condicionaban el desarrollo de las posibilidades del juego educativo. Se quiso, no obstante, controlar determinados factores de cada ámbito.

Por lo que se refiere a los factores tecnológicos, se tuvieron en cuenta la portabilidad del dispositivo, el tamaño de la aplicación y la usabilidad. Para el primero de los aspectos citados, la aplicación debe tener en cuenta las dimensiones de la pantalla del dispositivo y sus características, de manera que se obtenga una relación óptima entre el aspecto final y las posibilidades de densidad y compresión de la información en pantalla. En el caso del tamaño o peso de la aplicación, el único límite impuesto es la cantidad de gestión asumible por la memoria del dispositivo —en la medida de lo posible hay que pensar en un “peso” que no exija muchos esfuerzos de memoria, ya que debe convivir con muchas otras aplicaciones y no debe verse como un freno a la compatibilidad con otras que deseen conservarse—.

Para el caso que nos ocupa, se pensó en un aplicativo que no superara los 20 MB de uso de la memoria del dispositivo. Finalmente, los teclados o los iconos de pantalla que tuvieran que servir a tal fin debían tener una alta usabilidad y poderse gestionar desde el interior del dispositivo mediante el diseño de protocolos que los hicieran compatibles. Más adelante, después de su comercialización, en el siguiente paso (*updating*), se establecería el juego en red sin necesidad de tenerlo descargado en el dispositivo (el actual Zong-Ji *online*).

En el caso de los factores de lenguaje comunicativo, se apostó por prestar especial atención a la simplificación simbólica. Así, de acuerdo con las características y dimensiones de la pantalla de la *tablet*, se diseñaron ‘botones’ o espacios digitales que permitieran un fácil reconocimiento de las formas básicas y se trabajó por evitar una saturación de estímulos que impidiera una interacción

fácil y cómoda con la aplicación. Se procuró proponer una interactividad digital intuitiva, como consecuencia de la interiorización por el usuario del uso del teclado, ratón, el toque sobre pantalla (*touching*) u otros medios como propuesta para la navegación por la interfaz.

En la etapa de diseño de la investigación correspondiente a la discusión teórica sobre la que debía basarse el diseño de la aplicación Zong-Ji se tuvieron en cuenta y se evaluaron estos factores. Una vez aceptados y discutidos debía procederse a contemplarlos como puntales o límites del desarrollo conceptual de una aplicación que en concreto debía ayudar a ejercitar la mente en usuarios de edades comprendidas entre los 6 y los 9 años.

A esa cuestión había que añadirle factores como los grados de complejidad o de nivel de los ejercicios propuestos, sin olvidar que, finalmente, existe un espacio de abstracción desconocido que es el que se produce en la interacción del individuo con los planteamientos comunicativos que se le ofrecen a través de las pantallas de los diferentes dispositivos con los que interactúa desde una temprana edad y que formaría parte de lo que podemos dar en llamar su cultura tecnológica y de adquisición y aprendizaje de códigos y lenguajes comunicativos.

El objetivo era observar de qué modo una simplificación simbólica (elemento de lenguaje), fácilmente comprensible para un niño de 6 a 9 años, con unas determinadas habilidades y competencias en el uso de dispositivos como el que se usa para testear la aplicación, permite usar sin problemas un aplicativo pensado para estimular el aprendizaje y refuerzo de conceptos matemáticos de forma entretenida y divertida.

6. El Metacubo, base del aplicativo Zong-Ji Kids

El Zong-Ji –Zong-Ji Kids en la versión para niños– se plantea como un juego de habilidad matemática donde el jugador debe encontrar los números que faltan en una matriz, cuya combinación da lugar, mediante sumas o restas en vertical u horizontal, a otros números situados en los extremos de cada columna. La dificultad del juego aumenta si lo hace el número de casillas de la matriz planteada en un principio. Para conseguir variar la aparición de los números, el usuario debe tocar lo que representa la faceta de un cubo y simular que genera el movimiento del mismo sobre un eje vertical a ambos lados o bien hacia arriba o abajo con un leve toque de un dedo que impulsa la faceta y hace girar el cubo sobre su eje. A cada movimiento se le puede adjudicar un color y una característica de juego.

Pasemos a dar algunos detalles sobre el Metacubo, concepto base sobre el que se ha desarrollado la aplicación Zong-Ji Kids. En realidad, el término

Metacubo⁸ hace referencia al plegamiento en 3D de una superficie informativa 2D, con el fin de obtener una disposición compactada de la información en dispositivos digitales. Esto obliga a realizar un esfuerzo por iconografiar representaciones de objetos y combinaciones de datos para poderlos mostrar en pantallas de diferentes tamaños, dificultad que aumenta cuando dichas pantallas son de dimensiones reducidas.

El Metacubo, desarrollado por Josep A. Esteve en 2011 responde a los retos derivados del diseño de la forma —la superficie en la que se presenta la información debe ser compacta y codificable—, el tamaño —de un recorrido ilimitado, sólo limitado por la memoria del dispositivo— y la usabilidad —el tránsito entre las facetas debe resultar fácil e intuitivo—. En términos de una supuesta representación mental tridimensional en el procesamiento cognitivo del usuario, no deja de presentarse como un poliedro de seis caras, ya que mantiene la apariencia de un cubo tradicional⁹.

Las matrices presentadas son en realidad combinaciones de metacubos. Una matriz para un nivel infantil (6 a 9 años) de 2x2 metacubos con un operador suma (+) entre facetas vistas y un número de valores de 0 a 9 da lugar a 10.000 combinaciones posibles. Si además se añade la variable color (para que los resultados válidos sólo aparezcan combinando celdas del mismo color) el número de combinaciones asciende a 160.000, que ya podría considerarse para un nivel infantil-juvenil (6 a 13 años).

[08] En trabajos como los de Nguyen, Tjoa y Wagner (2000) se ha presentado un concepto de Metacubo como la disposición tridimensional de la información. "Conceptual multidimensional data model based on metacube" de Nguyen, Tjoa y Wagner (T. Yakno (Ed): ADVIS 2000, LNCS, pp 24-33). Este planteamiento sólo habla de la disposición espacial de la información, traspone árboles gráficos de 2D a un acumulo cúbico en 3D, pero no establece los protocolos de búsqueda y comparación de la misma. Es una forma pretérita teórica de hablar de disposición 3D de la información debido a los avances en infografía 3D. En el caso de nuestro Metacubo la información está compactada, estableciendo claros protocolos de búsqueda y comparación de la información almacenada.

[09] Esta teórica ha sido llevada a la práctica de forma exitosa por diferentes empresas como Tons of Toons, Esteve Animació y AppStar en la realización de diferentes App Games y App Utilities, como el Zong-Ji, Pellex, Suma, Sudoku que usan Metacubos cromonuméricos o los PuzzKids que usan Metacubos icónicos y cromoalfabéticos. La estructura Gigacubo, en el que la compactación de la información es mucho mayor, está siendo usada en el diseño de aplicaciones informativas deportivas.

Imagen 1. Salto de celda (2D) y rotación de cara de Metacubo (3D).

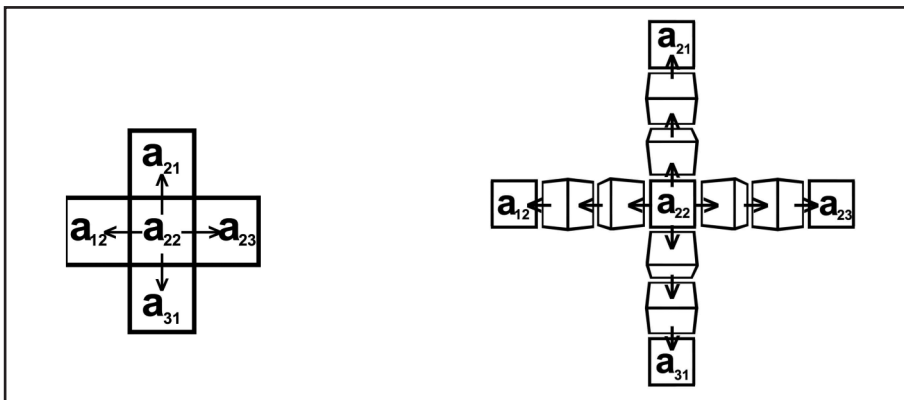
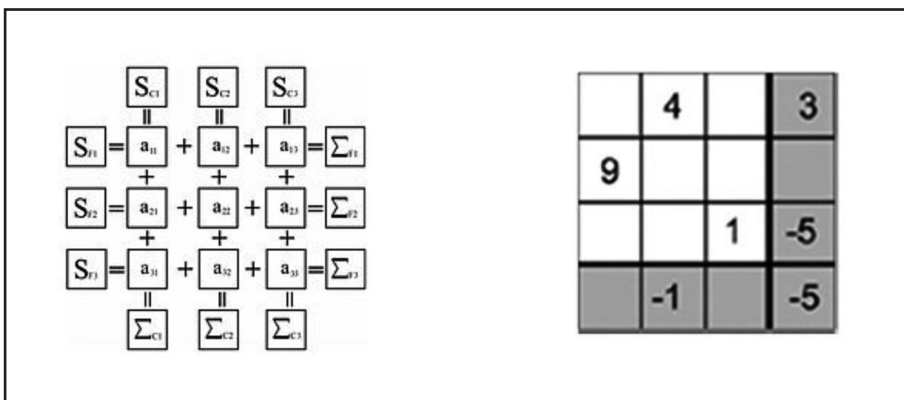


Imagen 2. Zong-Ji 3x3 y Zong-Ji 3x3 con puntuación inicial indicativa.



7. Metodología: procedimiento de testeo de la aplicación Zong-Ji Kids

El proceso de testeo se incorporó como etapa siguiente al desarrollo de bocetos y maquetas previa implementación del Zong-Ji Kids a la lógica del concepto Metacubo. Pero antes se había previsto la consulta a expertos sobre comportamiento y adecuación a los procesos cognitivos de los usuarios a los que iba dirigida la aplicación. Se contó de nuevo con el testimonio de maestros y pedagogos que probaron la aplicación y dieron su opinión sobre la propuesta presentada.

Antes de la preparación de las sesiones de testeo de producto con los niños se realizó una explicación del producto con una psicopedagoga infantil. Luego se les dejó probar la aplicación con el soporte de un miembro del equipo que atendía a sus preguntas. Otro miembro del equipo anotaba cuanto ocurría con el objetivo de someter las sugerencias a consideración en la etapa de evaluación

posterior y su conversión en cambios y mejoras. Sobre todo, se esperaba una evaluación de la adecuación de los problemas presentados a las tareas que a nivel cognitivo se ajustaran a la edad de los niños a los que iba dirigido el juego y a sus capacidades psicomotrices.

Una de las cuestiones que se detectó como espacio para el análisis y la experimentación era que la dificultad del reto operacional planteado fuera asumible, de manera que nunca se creara una situación de estrés que podía convertir el proceso de resolución en una experiencia negativa que pudiera alimentar un rechazo al juego, a las matemáticas en general y al cálculo en particular. Esas sugerencias se tradujeron en la simplificación simbólica de la presentación de los metacubos, y en retoques sobre los colores asignados a las formas numéricas. Se creyó acertado que la forma numérica elegida tuviera un aspecto divertido pero claro (números con ojos en la parte superior).

Imagen 3. Aspecto de un Zong-Ji Kids con matriz 2x2.



También se consideró positivo que una pequeña animación de un grupo de números manifestando su alegría con sonidos tuviera el sentido de premio por la tarea superada con éxito y que se animara al usuario mediante un discurso de apoyo positivo que reforzara la capacidad de superar la operación en un nuevo intento si el anterior había sido fallido. La facilidad de la interacción táctil con los metacubos en la pantalla fue considerada otro acierto. Se destacó que resultaba intuitiva y asimilable para una amplia horquilla de edad de usuarios infantiles.

Estas aportaciones nos ayudaban a creer en la consistencia de nuestra observación inicial sometida a prueba de que la simplificación simbólica, unida a una rápida comprensión de la propuesta de navegabilidad que propone una interfaz, influye en la rapidez de la adopción de una aplicación por parte del usuario.

Después de realizar los oportunos cambios que resultaban coherentes con este planteamiento se efectuó el diseño del testeo.

La revisión de literatura de trabajos sobre el testeo con contenidos y dispositivos similares o iguales a aquellos para los que estaba pensada la aplicación Zong-Ji Kids nos llevó a optar por el diseño de un protocolo de testeo observacional en laboratorio combinada con algunos aspectos de investigación cooperativa (Druin, 1999) por lo que se refiere al papel de un animador acompañante de los niños y del papel de observadores anotadores y para estudiar la usabilidad de la interfaz propuesta y su interacción con las representaciones simbólicas empleadas para la navegación así como con los conceptos matemáticos. La edad de la que forman parte los niños nos permite, según Hanna *et al.* (1997), que aporten opiniones sobre sus niveles de satisfacción y puedan realizar tareas con mayor atención.

Compartimos la definición de usabilidad que proporciona Nettet (2004) en su revisión de los aportes de diferentes expertos (Rubin, 1994; Rose, Shneiderman y Plaisant, 1995; Head, 1997 y Nielsen, 2000) entendida como la habilidad del usuario para comprender con facilidad y usar de manera intuitiva la navegación entre los componentes de una interfaz.

Tras la revisión de literatura existente (Virzi, 1992; Nielsen y Landauer, 1993) se optó por llevar a cabo diez sesiones con niños de 6 a 9 años en una de las salas de la productora Tons of Toons desde los días 14 de julio al 15 de septiembre de 2012. Igualmente, se creyó que el número de jueces observadores debían ser tres. De esta manera se pretendía atenuar la dispersión generada por el posible ‘efecto del evaluador’ o *evaluator effect* (Hertzum y Jacobsen, 2001). La decisión se tomó después de considerar que los posibles problemas de usabilidad eran muy reducidos y se podían controlar con facilidad a partir de la observación de la manipulación de la interfaz por los niños con el soporte observacional en la sala de un miembro del equipo de producción que realizaba tareas de monitor y animador.

Los niños participantes eran alumnos de la escuela Ruiz Amado, de la población gerundense de Castelló d’Empúries, con la que se había contactado previamente para permitir su colaboración en el experimento con el consentimiento de los padres, que también podían asistir a la observación de la sesión, lejos de las miradas de los niños. Al final, participaron en la primera fase de test un total de 80 niños.

El producto se testó con 44 niños y 36 niñas de diferentes edades: dos niños de 5 años, siete de 6 años (cinco niños y dos niñas), 29 de 7 (18 niños y 11 niñas), 20 de 8 (nueve niños y 11 niñas), 13 de 9 (seis niños y siete niñas) y finalmente un grupo formado por niños de 10 a 13 años (una niña de 10, tres niños y

una niña de 11, un niño y una niña de 12 y dos niñas de 13). La composición de los grupos por lo que se refiere a edades y sexos fue híbrida en todos los casos excepto en una sesión, en la que todos los componentes resultaron masculinos. Se procuró que la diferencia de edades de los miembros del grupo que participaban en la sesión de testeo no fuera mayor de tres años.

En la dinámica se repartieron cuatro unidades de juego en cada sesión, cada una de ellas instalada en diferentes dispositivos (iPad.ios, Galaxy Tablet.android con pantalla de 10" y iPod Touch.ios, Xperia.Android con pantalla de 5" a 7"). Un animador explicaba los objetivos básicos del juego y el manejo de la interfaz incidiendo en cuestiones que se explicaban en las instrucciones. Luego se dejaba que los niños jugaran en parejas bajo el control del animador con absoluta libertad, permitiendo el intercambio de dispositivos y de pareja. El objetivo de permitir esta libertad era comprobar las diferentes formas de interactuar con el juego y con los dispositivos para tomar nota de los comportamientos, así como de los comentarios y diálogos que se generaban en torno a la experiencia.

Los dos objetivos de la observación eran conocer cuál era el grado de simplificación simbólica mínima que podía emplearse para presentar la propuesta de ejercicio mental mediante metacubos a niños de 6 a 9 años y comprobar si la interfaz Metacubo era rápidamente aceptada para la navegación. También se prestó atención a si el diseño, los fondos y las animaciones impedían la comprensión del problema y se convertían o no en elementos distractores. Se probaron diversas combinaciones de colores y diversos grafismos de números y signos operacionales a lo largo de los diferentes tests que se llevaron a cabo.

También se estudió si la lógica del movimiento planteado de cada Metacubo sobre su eje en horizontal o vertical era comprendida con facilidad.

Analizadas estas cuestiones, se intentó comprobar de qué modo la confluencia de la simplicidad en la presentación del juego y de la propuesta de navegabilidad incidirían en una rápida adopción por el usuario, combinación de la interfaz que se sometía a testeo, validando o refutando la intuición inicial.

El animador realizaba preguntas de control sobre la comprensión del juego, sus partes y sobre el aspecto del Metacubo. Un equipo de observadores, a quienes se asignaba el seguimiento de las parejas de niños, ubicados tras un cristal, tomaba nota de todas las interacciones y comentarios que se producían en la sala. Las sesiones tenían una duración aproximada de 35 a 40 minutos: después de los 10 minutos iniciales, que se empleaban para explicar el juego, los niños disponían de 10 minutos para la adaptación y concreción de la usabilidad del usuario y, finalmente, dedicaban de 15 a 20 minutos de juego —en los que se constataba que cuanto más jugaban, más sabían y más disfrutaban— para obtener la recompensa de acabar el juego correctamente. La única intervención se producía si se produ-

cían situaciones que forzaran el celo competitivo más allá de lo aconsejable entre algunos de los participantes, cosa que sólo se produjo en una ocasión.

A modo de prueba, se decidió que para esta investigación podrían establecerse otros parámetros de anotación tales como la percepción subjetiva del observador sobre la reacción del niño ante el juego planteado (lo que se dio en llamar “reactividad”) y el tiempo que el joven pasaba interactuando con el mismo, entendido como posible indicio de satisfacción de la experiencia y que se tradujo como la “persistencia” del sujeto. Por lo que se refiere a la reactividad, el observador la valoraba positiva si veía que el joven no se mostraba pasivo y reaccionaba de algún modo, aunque fuera mostrando escepticismo o contrariedad inicial. Si ocurría esto último, el juez anotaba un punto positivo y si la actitud era pasiva, un punto negativo. El valor era neutro si el observador no era capaz de observar tendencia hacia uno u otro extremo.

En el caso de la persistencia, ésta quedaba demostrada si el niño o la niña jugaban con la aplicación hasta la resolución de algún ejercicio y si mostraban interés por continuar con el juego, valorándose esta actitud con un punto. En caso contrario, la puntuación era de un punto negativo. Si jugaba durante un momento pero abandonaba al cabo del primer reto, el observador puntuaba con un 0. Junto a estos aspectos se hallaba en la ficha de anotación el espacio en el que el observador valoraba si el niño había tenido una opinión positiva o negativa a partir de los comentarios que realizaba durante el proceso de test.

Todos los aspectos se valoraban en una escala de -1 a 1. Luego de las sesiones, se producía un intercambio de impresiones entre los observadores y se requería, si era preciso, alguna opinión del animador sobre algún detalle del desarrollo de la dinámica. El objetivo era consensuar las anotaciones sobre las valoraciones que realizaban los niños en una plantilla final.

Algunas de las aportaciones fueron estudiadas e implementadas al día siguiente al de la sesión de testeo e incorporadas a la nueva versión que se iba a probar en dos de los cuatro dispositivos, de manera que los sujetos experimentales podían realizar comparaciones y valorarlas, datos que eran nuevamente recogidos por los observadores y contrastados con el animador.

Las mejoras se produjeron, sobre todo, a nivel de diseño y de presentación estética. Se tuvieron muy en cuenta los comentarios sobre el aspecto y tamaño de los objetos digitales y del fondo de pantalla, de manera que se realizaron cambios que mejoraron la presentación.

La lógica de navegación y el mecanismo para resolver el problema fueron fácilmente comprendidos y asimilados por los niños. Como cuestiones relevantes de la experiencia, merecen ser destacadas la comprensibilidad del concepto del juego y del nivel de complejidad del trabajo mental que se exigía. En gene-

ral, se valoró positivamente el entusiasmo demostrado por los niños más mayores durante la actividad.

Con los cambios y mejoras adaptados, se llevó a cabo una nueva sesión de testeo con los cinco niños que en anteriores sesiones podrían responder al *target* de producto y que habían demostrado una capacidad evaluadora y una expresividad que los convertía en evaluadores ideales de los cambios implementados.

Finalmente, se realizó una contrastación del producto con los padres que accedieron a las sesiones de test acompañando a los niños, ya que su opinión se consideraba fundamental. Aquellos tutores que manifestaron abiertamente su afición por juegos mentales similares como el Sudoku o Scrabble o crucigramas encontraron el juego muy adecuado. Curiosamente, la mayoría no caía en la cuenta de que el cubo que manipulaban los niños y ellos durante el juego tenía nueve caras hasta que se les comentaba de forma explícita. Esto nos anima a creer en futuras líneas de investigación o valida nuestra idea de que cuando el planteamiento resulta verosímil con todas las experiencias aprehendidas y convertidas en plausibles, fruto del pacto digital interactivo, la propuesta encaja fácilmente.

Es importante destacar que son los padres los que a determinadas edades deben explicar y entender los detalles del juego por si deben transmitirlos a los hijos. El aspecto y planteamiento de los problemas deben también seducir a los tutores, ya que en muchas ocasiones son los adultos los que toman decisiones sobre juegos que adquieren para los pequeños del hogar realizando, en muchas ocasiones, evaluaciones muy severas. En este sentido, resultó muy conveniente contrastar los contenidos de las charlas y sesiones de demostración y manipulación del Zong-Ji Kids de nuevo con el asesoramiento pedagógico de la experta con la que contó la empresa. Los cambios realizados en esta fase sobre el producto no iban a ser, sin embargo, los definitivos.

Esta fase de producción de la innovación acabó con la elaboración del informe general del producto que recogía las opiniones de todos los implicados durante el proceso de diseño y que tenía que servir para estudiar la viabilidad comercial. Luego del análisis del informe, se produjeron reuniones ejecutivas para preparar la puesta en marcha de la producción.

La aplicación Zong-Ji Kids se convirtió también en 2012 en aplicación *online*. Para el seguimiento y recolección de datos de comportamiento de los usuarios hasta el día de hoy se empleó la herramienta Analytics-E, diseñada y producida por Esteve Animació, S. L., que permitía obtener información sobre los denominados Datos Físicos (DF) y Datos de Conducta (DC) de los usuarios. Forman parte de los DF, la duración de uso de las funciones, el número de *clicks* sobre los distintos botones, lugar donde los ejecuta, entradas y salidas realizadas. En cuanto a los DC, se puede saber cuál es la secuenciación y distribución

de uso de las funciones, la repetición y singularidad en cadencias de *clicks* o la prevalencia de funciones.

Imagen 4. Tabla de anotaciones finales de observadores en prueba de testeo.

Testing APP ZONG JI KIDS (IOS) Prova grupal nens i nenes . Tons of Toons - AppStar 2012.										
Dia 14 juliol 2012			Revisió							
Nº	Nom	Edat	REACTIVITAT			PERSISTENCIA			OPINIO	
1	Carles	8		0	+1		0	+1	0	+1
2	Lluís	6	-1					+1		+1
3	Laura	8		0	+1			+1	0	+1
4	Manel	7			+1			+1		+1
5	Inma	9	-1				0		-1	
6	Mahmmet	8			+1			+1	0	+1
7	Carla	8	-1					+1		+1
8	Enric	8			+1		0		-1	0
9	Agnes	7		0	+1		0	+1		+1
10	Klaus	8	-1			-1			-1	
11	German	9			+1			+1		+1

La estadística resultante de la acumulación de datos permite reconocer defectos de navegación, de forma o de contenido y, de este modo, realizar correcciones y pruebas futuras. Los datos obtenidos desde entonces corroboran los ya disponibles en las sesiones de testeo iniciales, por lo que no se ha estimado necesario realizar ningún cambio de la aplicación Zong-Ji Kids para *tablets* o para la versión *online*.

8. Resultados

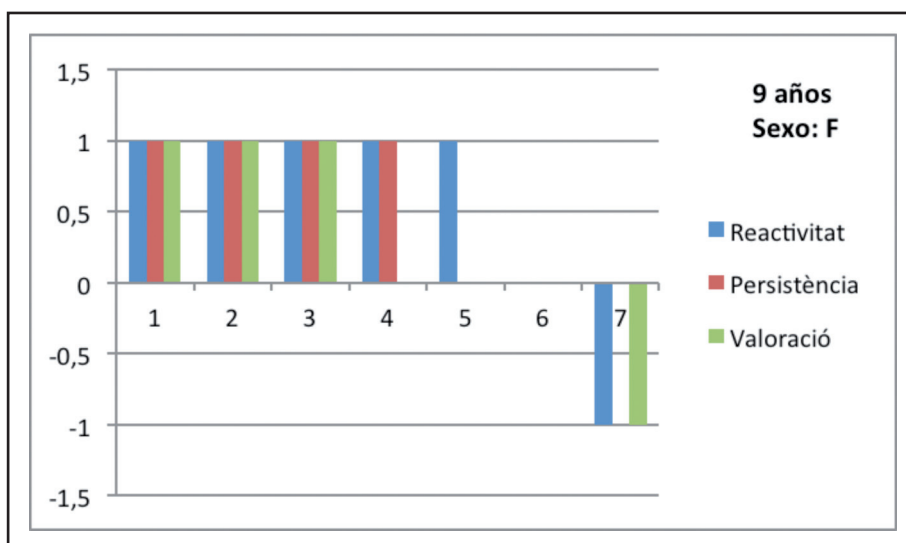
Tras la obtención de valoraciones en el testeo en laboratorio, se construyó una tabla de anotación de resultados con el objetivo de elaborar un estudio descriptivo. Aquellos casos en los que el anotador señalaba en algunos de las cuestiones evaluadas (reactividad, persistencia y opinión) tanto el punto intermedio como el positivo o bien el negativo, se reevaluaba como resultado neutro (0). En aquellos casos en los que la casilla de anotación estaba vacía también se codificaba con un 0. En nuestro trabajo de testeo interesaba conocer dónde se producía la acumulación de anotaciones de los tres factores que se tenían en cuenta con resultados positivos.

Analizados los casos por edades y por sexos, nos encontramos, pues, con que esto ocurre en el grupo de niños y niñas de 9 años de edad, con un total de cinco casos (tres niñas y dos niños) sobre 13. En el grupo de niños de 8 años se constata que, a pesar de que sólo hay uno en que la reactividad se califica

como buena, sí hay una mayor persistencia y valoración positiva, con seis casos (cuatro niñas y dos niños) sobre 20. Esto sucede también en el caso de los niños de 7 años, con cinco (cuatro niños y una niña) sobre 18 casos detectados. Por lo que se refiere a la valoración en general, 43 sobre un total de 80 son positivas, 11 negativas, siendo neutras las 26 restantes opiniones.

Por edades, destacamos que, a pesar de que el grupo es reducido, es en la edad de 6 años en la que la valoración positiva es mayor, con cinco de siete respuestas positivas (71 por ciento), mientras que más de la mitad coinciden en esa notación tanto en el caso del grupo de niños de 9 (53 por ciento) y 8 años (55 por ciento) y queda sólo un poco por debajo en el caso del grupo de niños de 7 años (46 por ciento).

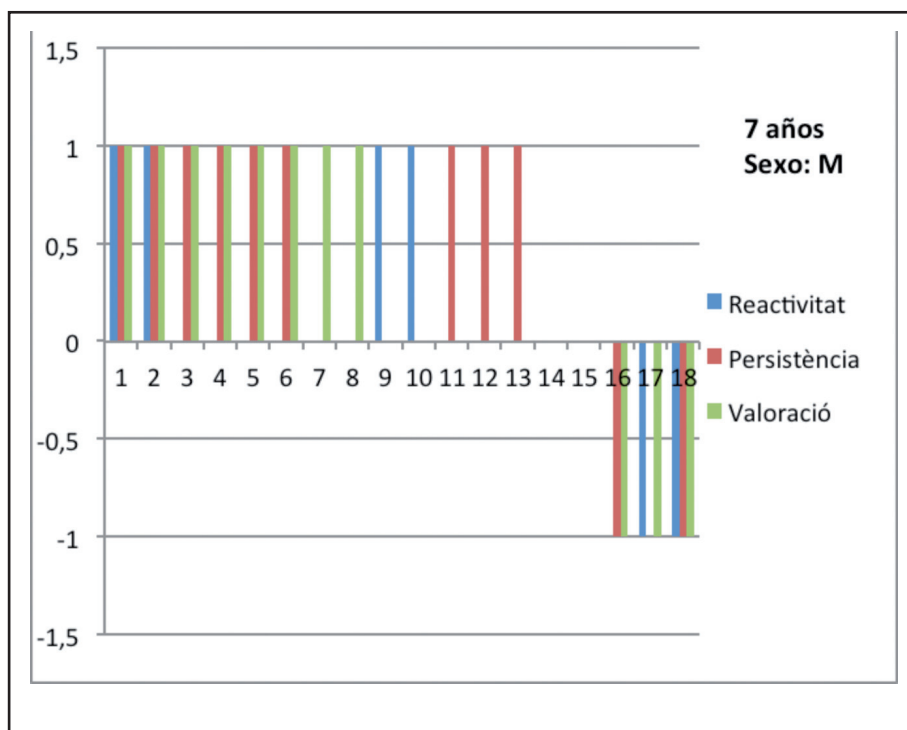
Figura 1. Aceptación alta de tres niñas de 9 años (elevadas reactividad, persistencia y valoración).



Todos estos resultados nos llevan a pensar que el Zong-Ji Kids, tras las pertinentes adecuaciones sugeridas por los participantes en el test, encuentra su mejor espacio entre las niñas de 9 años, que presentan en general una mayor aceptación o reactividad y persistencia ante la aplicación. Hay pocos chicos en ese grupo de edad (sólo dos sobre cinco) que comparten la misma valoración que sus compañeras femeninas. En el grupo de niños y niñas de 8 años también se observa cierta tendencia a la persistencia, pero una muy baja reactividad inicial. Una alta persistencia se comparte entre los niños de 7 años. Para la edad de 6 años se detecta cierta falta de persistencia y una baja reactividad aunque en general las valoraciones son positivas.

En conclusión, a pesar de que se pensaba en una horquilla de edades comprendida entre los 6 y los 9 años (si tenemos en cuenta a Piaget), la aplicación Zong-Ji Kids encuentra su mejor espacio entre los niños y niñas de 7 a 9 años.

Figura 2. Escasa reactividad pero altas persistencia y valoración positiva entre el grupo de 18 niños de 7 años de edad que se sometieron al testeo del Zong-Ji Kids.



9. Discusión

La construcción de un posicionamiento previo ante el modo de comprender la relación de los jóvenes con las tecnologías en los diferentes entornos (aprendizaje, juego, vida social, etc.) facilita la ideación y construcción de una herramienta pensada para un tipo concreto de usuarios.

Sin embargo, hasta hoy se constata una falta de estudios e investigaciones sobre los factores involucrados en los procesos de ideación y desarrollo de aplicaciones que pretenden ser vehículos para el aprendizaje de conceptos matemáticos, ya sea en entornos de instrucción o fuera de los habituales diseñados para el aprendizaje.

El entorno cambiante en el que los niños se desarrollan, con la aparición de múltiples tecnologías, estímulos y maneras de compartir la información sobre las mismas, hace que la interacción con los jóvenes para quienes está pensada una aportación conceptual y tecnológica sea necesaria. Los códigos y lenguajes deben ser compartidos para que el resultado final resulte atractivo a los ojos de los usuarios.

En este sentido, parece necesaria una continua revisión sobre la relación entre el proceso cognitivo del sujeto en su interacción en diferentes edades con las tecnologías y contenidos que puede consultar y usar, ya que el acceso a los dispositivos móviles acelera el contacto con los lenguajes actuales y los que se construyen con la aparición de una nueva aplicación o tecnología. Esta cuestión exige, como siempre, un esfuerzo en los docentes para conocer al máximo a sus alumnos y poder aprovechar esas habilidades y destrezas que aquellos adquieren en entornos ajenos a los escolares.

Es probable que todas estas cuestiones influyan en la construcción del conocimiento o en el comportamiento del sujeto. Esto impele a ser sensible hacia enfoques híbridos del problema, por ejemplo cognitivistas y socioculturales, ya que proporcionarán una mayor riqueza para la comprensión de una cuestión tremendamente compleja. Si bien, es cierto que un enfoque pluriperspectivista complica el método de obtención y de control de la investigación.

Estas cuestiones complican tremendamente los procesos creativos de aplicativos y juegos de éxito, entre otras cosas porque deben responder a las lógicas del mercado, influenciadas en muchas ocasiones por las modas o tendencias. Colocar en un lugar preferente una buena aplicación, como pueda ser un buen juego, depende en muchas ocasiones de intereses económicos y del apoyo de los distribuidores y de la inversión en la difusión. En este sentido, habría, pues, dos maneras de entender la implementación de un juego en el mercado: invirtiendo mucho dinero en su promoción a fin de que en poco tiempo se haga popular –independientemente de su valor intrínseco–, o bien invirtiendo poco dinero y confiar en la viralización del juego entre usuarios o asociaciones educativas afines como consecuencia de su calidad intrínseca.

Todo esto nos anima a pensar también en la importancia del desarrollo de políticas públicas que apoyen las iniciativas más desfavorecidas por esa dificultad de entrar en un mercado excesivamente competitivo y controlado por grandes marcas de fabricación de dispositivos. Esas políticas deberían alentar el desarrollo teórico de conceptos innovadores que a medio y largo plazo pueden constituir espacios para fomentar la producción de nuevos formatos, contenidos o nuevas aplicaciones y cuanto está relacionado con ello. En este sentido, proponemos como ejemplo el caso del Metacubo.

Por lo que se refiere al procedimiento de testeo empleado en nuestro caso, la introducción de conceptos de valoración subjetiva por parte de observadores como la reactividad y la persistencia nos parece interesante aunque deben fundamentarse y desarrollarse de una manera más clara para evitar que aparezcan recodificaciones neutras posteriores. Sin embargo, pensamos que estudiar la reacción o la relación entre el tiempo de juego y la satisfacción durante el juego de aprendizaje puede aportar datos interesantes.

Hemos constatado, gracias al análisis continuado de los datos proporcionados por el uso periódico de la aplicación *online*, la coherencia de las decisiones tomadas durante el proceso de testeo en laboratorio. Las soluciones *big data* se presentan como importantes fuentes de seguimiento y control de la estabilidad y aceptación de una producción.

10. Conclusiones

Los elementos de lenguaje y tecnológicos se convierten en factores básicos a estudiar desde un principio y deben convertirse en mecanismos que vehiculan de forma clara y sencilla los conceptos matemáticos que se quieren representar en las diferentes actividades que se proponen en una aplicación. Efectivamente, y tal como nos indican los datos de las sesiones de testeo, la simplificación simbólica unida a una rápida comprensión de la propuesta de navegabilidad que propone una interfaz influyen en la rapidez de la adopción de una aplicación por parte del usuario que forma parte de la horquilla de edades óptima. El enfoque constructivista inicial nos ha sido de gran utilidad, aunque pensamos que un enfoque híbrido, compartiendo también una perspectiva sociocultural, nos hubiera permitido controlar más cuestiones en las pruebas del producto en laboratorio.

Así, el Zong-Ji Kids adaptado al concepto Metacubo se presenta como una herramienta óptima para ofrecer entretenimiento y refuerzo de conceptos matemáticos básicos para una horquilla de edad de 7 a 9 años. El proceso de observación nos anima a creer que el aplicativo obtiene un máximo rendimiento a esas edades, mientras que su introducción prematura, a partir de los 5 o los 6 años, no parece que lo consiga, puesto que los principales conceptos aún no están mínimamente afianzados.

El método de testeo realizado con observadores y la libertad de la práctica lúdico-didáctica compartida con pares creemos que sigue siendo un acierto para modificar y mejorar el producto con garantías. También para inducir al debate sobre la formulación de conceptos relativamente nuevos (reactividad y persistencia), pero que de alcanzar una madurez pueden resultar relevantes para la investigación futura.

A pesar de que plantear la puesta en marcha de una aplicación como un proyecto de investigación puede significar un retraso de los tiempos habitualmente pensados para la lógica mercantil, la garantía de acierto en la satisfacción de los usuarios directos y en la percepción de quienes influyen sobre su adquisición –tutores, padres, o entorno familiar en muchos casos– es mucho mayor.

El juego educativo que estimula el trabajo mental puede ser diseñado para un consumo libre por parte del niño. Es preferible que tenga un adulto al lado, sea un profesor o un tutor, pero la práctica demuestra que este acompañamiento no se produce o no puede darse muchas veces. No puede negarse este hecho –los niños juegan también solos–, así que es preferible que, si esto ocurre, se haya garantizado y comprobado de antemano que la actividad de veras ejercita el trabajo mental y puede resultar educativa.

11. Bibliografía

- ALEXANDER, R. J. y ARMSTRONG, M. (2010): ‘Children, their world, their education: Final report and recommendations of the *Cambridge Primary Review*’. London: Routledge.
- ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, F.; BARAJAS-SAAVEDRA, A. y MUÑOZ-ARTEAGA, J. (2014): ‘Serious game design process, study case: sixth grade math’, en *Creative Education*, 5, 647-656. Doi: 10.4236/ce.2014.59077.
- ANDERSON, C. A.; SHIBUYA, A.; IHORI, N.; SWING, E. L.; BUSHMAN, B. J.; SAKAMOTO, A. *et al.* (2010): ‘Violent video game effects on aggression, empathy, and prosocial behavior in eastern and western countries: a meta-analytic review’, en *Psychological Bulletin*. 136(2), 151-173, doi: 10.1037/a0018251.
- ANDERSON, C. A. y Warburton, W. A. (2012): ‘The impact of violent video games: An overview’, en W. Warburton & D. Braunstein (Eds.) *Growing Up Fast and Furious: Reviewing the Impacts of Violent and Sexualised Media on Children*, 56-84. Annandale, NSW, Australia: The Federation Press.
- ARRIAGA, P.; MONTEIRO, M. B. y ESTEVES, F. (2011): ‘Effects of playing violent computer games on emotional desensitization and aggressive behavior’, en *Journal of Applied Social Psychology*, 41(8), 1900-1925.
- BELLOTTI, V.; BACK, M.; EDWARDS, K.; GRINTER, R.; HENDERSON, A. y LOPES, C. (2002): ‘Making sense of sensing systems: Five questions for designers and researchers’, en proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 415-422. New York: ACM, doi:10.1145/503376.503450.
- BRODY, H. (1993): ‘Video games that teach?’, en *Technology Review*, 96(8), 51-57.
- CHIASSON, S. y GUTWIN, C. (2005a): ‘Design principles for children’s software’ (Tech. Rep. HCI-TR-05-02), Computer Science Department, University of Sas-

katchewan. Consultado el 27 de noviembre de 2010, desde <http://www.hci.usask.ca/publications/>

→ CHIASSON, S. y GUTWIN, C. (2005b): 'Testing the media equation with children', en proceedings of CHI 2005, 829-838. Portland, Oregon, ACM.

→ CHORIANOPOULOS, K. y GIANNAKOS M. N. (2014): 'Design principles for serious video games', en *Mathematics Education International Journal of Serious Games*. 1 (3) ISSN: 2384-8766, doi: 10.17083/ijsg.v1i3.12.

→ CHUANG, T. Y. y CHEN, W. F. (2009): 'Effect of computer-based video games on children: An experimental study', en *Educational Technology & Society*, 12 (2), 1-10.

→ CONFREY, J.; MALONEY, A.; FORD, L. y NGUYEN, K. (2006): 'Graphs 'n Glyphs as a means to teach animation and graphics to motivate proficiency in mathematics by middle grade urban students', en HOYLES, C.; LAGRANGE, J. B.; SON, L. H. y SINCLAIR, N. (eds.): Proceedings of the 17th ICMI study conference "Technology Revisited" 2,112-119. Hanoi: Hanoi University of Technology.

→ COOK, J. L. y COOK, G. (2005): *Child development. Principles and perspectives*. Boston: Allyn & Bacon.

→ DETERDING, S.; DIXON, D.; NACKE, L. E.; O'HARA, K. y SICART, M. (2011): 'Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts', en proceedings of the 2011 Annual Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA'11), Vancouver, BC, Canada. 2.425-2.428, doi: 10.1145/1979482.1979575.

→ DONOHUE, S. E.; WOLDORF, M. G. y MITROFF, S. R. (2010): 'Video games players show more precise multisensory temporal processing abilities', en *Attention, Perception & Psychophysics*, 72, 1120-1129.

→ DRUIN, A. (2002): 'The role of children in the design of new technology', en *Behaviour and information technology*, 21(1), 1-25.

→ EGENFELDT-NIELSEN, S. (2006): 'Overview of research on the educational use of videogames', en *Nordic Journal of Digital Literacy*, 3(1), 184-213.

→ EGENFELDT-NIELSEN, S. (2008): 'Practical barriers in using educational computer games', en D. DREW (ed.): *Beyond Fun*, 20-26. ETC Press.

→ ELIËNS, A. y RUTKAY, Z. (2009): 'Math game(s) - An alternative (approach) to teaching math?', en proceedings Game-on 2009, 68-72. Dusseldorf. Consultado el 18 de noviembre de 2011 desde: <http://doc.utwente.nl/69554/>

→ ENSLEY, D. y KASKOSZ, B. (2013): 'Mobile Math Apps: Innovative Smartphone Technology', en proceedings of the Twenty-fifth Annual International Conference on Technology in Collegiate Mathematics, ISBN-10:0133866726. Consultado el 31 de diciembre de 2016 desde: <http://archives.math.utk.edu/ICTCM/VOL25/S064/paper.pdf>

- FALLOON, G. (2013): 'Young students using iPads: App design and content influences on their learning', en *Computers & Education*, 68, 505-521, doi:10.1016/j.compedu.2013.06.006
- Federation of American Scientists (2006): 'Summit on educational games: Harnessing the power of video games for learning'. Consultado el 3 de enero de 2017 desde: <http://www.fas.org/gamesummit/>
- GEE, J. P. (2003): *What video games have to teach us about learning and literacy*. New York: Palgrave MacMillan.
- GINSBURG, H. P. y OPPER, S. (1988): *Piaget's Theory of Intellectual Development*. (tercera edición). Englewood Cliffs, N J: Prentice-Hall.
- GOEHLE, G. (2013): 'Gamification and web-based homework', en *Primus*, 23(3), 234-246, doi: 10.1080/10511970.2012.736451.
- GREEN, C. S. y BAVELIER, D. (2003): 'Action-video-game experience modifies visual selective attention', en *Nature*, 423, 534-537, doi: 10.1038/nature01647.
- GREEN, C. S. y BAVELIER, D. (2006): 'Effect of action video games on the spatial distribution of Visuospatial Attention', en *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), 1465-1478.
- GREEN, C. S. y BAVELIER, D. (2007): 'Action-video-game experience alters the spatial resolution of vision', en *Psychological Science*, 18, 88-94.
- GREEN, C. S. y BAVELIER, D. (2008): 'Exercising your brain: A review of human brain plasticity and training-induced learning', en *Psychology and Aging*, 23(4), 692-701, doi: 10.1037/a0014345.
- GREEN, C. S. y SEITZ, A. R. (2015): 'The impacts of Video Games on Cognition (and how the government can guide the industry)', en *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 2(1), 101-110, doi: 10.1177/2372732215601121.
- GREENFIELD, P. M. (2009): 'Technology and informal education: What is taught, what is learned', en *Science*, 323, 69-71, doi: 10.1126/science.1167190.
- HANNA, L.; RISDEN, K. y ALEXANDER, D. (1997): 'Guidelines for usability testing with children', en *Interactions*, 4(5), 9-14, doi: 10.1145/264044.264045.
- HASAN, Y.; BEGUE, L.; SCHARKOW, M. y BUSHMAN, B. J. (2013): 'The more you play, the more aggressive you become: A long-term experimental study of cumulative violent video game effects on hostile expectations and aggressive behavior', en *Journal of Experimental Social Psychology*, 49, 224-227.
- HEAD, A. J. (1997): 'Web usability and essential interface design issues', en M. WILLIAMS y T. HOGAN (Eds.): *Proceedings of the 18th National Online Meeting*, 157-163. Medford, NJ: Information Today.
- HERTZUM, M. y JACOBSEN, N. E. (2001): 'The evaluator effect: A chilling fact about usability evaluation methods', en *International Journal of Human-Computer Interaction*, 13(4), 421-443. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- HU, W.; BODNER, M.; JONES, E. G.; PETERSON, M. y SHAW, G. L. (2004a): 'Dynamics of innate spatial-temporal learning process: data driven education results identify universal barriers to learning', en International Conference on Complex Systems (ICCS), Boston, MA. Consultado el 7 de enero de 2010 desde: <http://www.mindresearch.org/results/research>
- HU, W.; BODNER, M.; JONES, E. G.; PETERSON, M. y SHAW, G. L. (2004b): 'Data mining of mathematical reasoning data relevant to large innate spatial-temporal reasoning abilities in children: Implications for data driven education', en Society for Neuroscience 34th annual meeting. Consultado el 7 de enero de 2010 desde: <http://www.mindresearch.org/results/research/>
- HUNTEMANN, N. B. y PAYNE, M. T. (2015): 'Militarism and online games', en JAMES IVORY y APHRA KERR (Eds.): *International Encyclopedia of Digital Communication and Society*, Vol. 3.
- JACKSON, L. A.; WITT, E. A.; GAMES, A. I.; FITZGERALD, H. E.; VON EYE, A. y ZHAO, Y. (2012): 'Information technology use and creativity: Findings from the children and technology project', en *Computers in Human Behavior*, 28, 370-376, doi:10.1016/j.chb.2011.10.006.
- JOHNSON, J. E.; CHRISTIE, J. F. y YAWKEY, T. D. (1999): *Play and early childhood development* (segunda edición). New York: Longman.
- KAFAL, Y. (2006): 'Playing and making games for learning: Instructionist and constructionist perspectives for game studies', en *Games and Culture*, 1(1), 36-40. Sage publications, doi: 10.1177/1555412005281767.
- KAPP, K. M. (2012): *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. John Wiley & Sons.
- KE, F. (2008a): 'Computer games application within alternative classroom goal structures: Cognitive, metacognitive, and affective evaluation', en *Educational Technology Research and Development*, 56(5), 539-556.
- KE, F. (2008b): 'A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay?', en *Computers & Education*, 51(4), 1.609-1.620, doi:10.1016/j.compedu.2008.03.003.
- KE, F. y GRABOWSKI, B. (2007): 'Gameplaying for math's learning: Cooperative or not?', en *British Journal of Educational Technology*, 38(2), 249-259, doi: 10.1111/j.1467-8535.2006.00593.x.
- KEBRITCHI, M. y HIRUMI, A. (2008): 'Examining the pedagogical foundations of modern educational computer games', en *Computers & Education*, 51, 1.729-1.743, doi:10.1016/j.compedu.2008.05.004.
- KEBRITCHI, M.; HIRUMI, A. y BAI, H. (2010): 'The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation', en *Computers & Education*, 55, 427-443, doi: 0.1016/j.compedu.2010.02.007.

- KIM, S. y CHANG, M. (2010): 'Computer games for the math achievement of diverse students', en *Educational Technology & Society*, 13 (3), 224-232.
- KLAWE, M. M. (1998): 'When does the use of computer games and other interactive multimedia software help students learn mathematics?', en Technology and NCTM Standards 2000 Conference, Arlington. Consultado el 6 de enero de 2010 desde: <http://mathforum.org/technology/papers/papers/klawe.html>
- KLOPPER, E.; Osterweil, S. y SALEN, K. (2009): 'Moving learning games forward obstacles, opportunities and openness'. The education arcade. MIT. Massachusetts. Recuperado desde: <https://educators.brainpop.com/printable/moving-learning-games-forward-obstacles-opportunities-openness/>
- KORNELL, N. y BJORK, R. A. (2008): 'Learning concepts and categories: is spacing the "enemy of induction"?'', en *Psychological Science*, 19, 585-592, doi: 10.1111/j.1467-9280.2008.02127.x.
- LAMERAS, P. y MOUMOUTZIS, N. (2015): 'Towards the gamification of inquiry-based flipped teaching of mathematics: a conceptual analysis and framework'. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL): 343-347, doi: 10.1109/IMCTL.2015.7359616
- LANDERS, R. N. y CALLAN, R. C. (2011): 'Casual social games as serious games: the psychology of gamification in undergraduate education and employee training', en M. MA; A. OIKONOMOU y L. C. JAIN (Eds.): *Serious Games and Edutainment Applications*, 399-423. Springer-Verlag.
- LEE, J. J. y HAMMER, J. (2011): 'Gamification in education: what, how, why bother?', en *Academic Exchange Quarterly*, 15(2), 146.
- LISI, R. de, y WOLFORD, J. L. (2002): 'Improving children's mental rotation accuracy with computer game playing', en *The Journal of Genetic Psychology*, 163, 272-282.
- MAZZONE, E.; XU, D. y READ, J. C. (2007): 'Design in evaluation: reflections on designing for children's technology', en proceedings of the 21st British HCI Group Annual Conference on People and Computers: HCI... but not as we know it, 2, 153-156. British Computer Society Swinton, UK.
- MARCHAND, A. y HENNIG-THURAU, T. (2013): 'Value creation in the video game industry: Industry Economics, Consumer Benefits, and Research Opportunities', en *Journal of Interactive Marketing*, 27(3), 141-157, doi: 10.1016/j.intmar.2013.05.001.
- MUNTEAN, C. I. (2011): 'Raising Engagement in E-Learning through Gamification'. The 6th International Conference on Virtual Learning, Babeş-Bolyai University of Cluj-Napoca, Romania, 323-329. Consultado el 3 de enero de 2017 desde: http://icvl.eu/2011/disc/icvl/documente/pdf/met/ICVL_ModelsAndMethodologies_paper42.pdf

- NESSET, V. y LARGE, A. (2004): 'Children in the information technology design process: a review of theories and their applications', en *Library & Information Science Research*, 26, 140-161, doi:10.1016/j.lisr.2003.12.002.
- NIELSEN, J. (2000): *Designing web usability*. Indianapolis, IN: New Riders Publishing.
- NIELSEN, J. y LANDAUER, T. K. (1993): 'A mathematical model of the finding of usability problems'. Interchi'93, Conference on Human Factors in Computing Systems, 206-213, ACM Press, doi: 10.1145/169059.169166.
- O'BRYAN, K. G. y BOERSMA, F. J. (1971): 'Eye movements, perception activity, and conservation development', en *Journal of Experimental Child Psychology*, 12, 157-169. Doi:10.1016/0022-0965(71)90001-4.
- OWEN, A. M.; HAMPSHIRE, A.; GRAHN, J. A.; STENTON, R.; DAJANI, S.; BURNS, A. S.; HOWARD, R. J. y BALLARD, C. G. (2010): 'Putting brain training to the test', en *Nature* 465, 775-778, doi:10.1038/nature09042 465.
- PAVELICH, M. J. (1984): 'Integrating Piaget's principles of intellectual growth into the engineering classroom', in proceedings ASEE Annual Conference, 719-722. Washington, DC: ASEE.
- PETERSON, R.; VERENIKINA, I. y HERRINGTON, J. (2008): 'Standards for educational, edutainment, and developmentally beneficial computer games', in proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2008. Chesapeake, VA: AACE.
- PETTY, D. y GUNAWARDENA, A. (2007): *The use of tablet pcs in early mathematics education*. Three Rivers Educational Technology Conference, PA. Cranberry. Consultado el 1 de enero de 2011 desde: <http://www.cs.cmu.edu/~ab/TRETC07/>
- PIAGET, J. (1961): *La formación del símbolo en el niño*. México: FCE.
- PIAGET, J. (1963): *The origins of intelligence in children*. New York: W.W. Norton & Company, Inc.
- PRATO, G. de; FEIJOO, C. y SIMON, J. P. (2014): 'The road to e-services: online and mobile games as enablers', en Y. BAEK *et al.* (eds.): *Trends and Applications of Serious Gaming and Social Media, Gaming Media and Social Effects*, doi: 10.1007/978-981-4560-26-9_2,).
- President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST) (2010): 'Prepare and inspire: K-12 education in science, technology, engineering, and math (STEM) for America's future'. Consultado el 3 de enero de 2017 desde: <http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ostp/pcast>.
- President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST) (2010): 'Engage to excel: producing one million additional college graduates with degrees in science, technology, engineering and mathematics'. Consultado el 3 de enero de 2017 desde: <http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ostp/pcast>.

- ROSAS, R.; NUSSBAUM, M.; CUMSILLE, P.; MARIANOV, V.; CORREA, M.; FLORES, P.; GRAU, V.; LAGOS, F.; LÓPEZ, X.; LÓPEZ, V.; RODRÍGUEZ, P. y SALINAS, M. (2003): 'Beyond Nintendo: Design and Assessment of Educational Video Games for First and Second Grade Students', en *Computers & Education*, 40(1), 71-94, doi:10.1016/S0360-1315(02)00099-4.
- RIDEOUT, V. J.; VANDEWATER, E. A. y WARTELLA, E. A. (2003): 'Zero to six: Electronic media in the lives of infants, toddlers and preschoolers'. Menlo Park, CA: Henry J. Kaiser Family Foundation. Recuperado el 13 de febrero de 2010 desde: <http://eric.ed.gov/?id=ED482302>
- ROSCHELLE, J. M.; PEA, R. D.; HOADLEY, C. M.; GORDIN, D. N. y MEANS, B. M. (2000): 'Changing how and what children learn in school with computer-based technologies', en *Future Child*, 10 (2), 76-101.
- ROSE, A.; SHNEIDERMAN, B. y PLAISANT, C. (1995): 'An applied ethnographic method for redesigning user interfaces', en G. OLSON y S. SCHUON (Eds.): Conference proceedings on designing interactive systems: Processes, practices, methods, and techniques, 115-122, New York: ACM Press.
- RUBIN, J. (1994): *Handbook of usability testing: How to plan, design and conduct effective test*. New York: Wiley.
- SALCEANU, C. (2014): 'The influence of computer games on children's development. Exploratory study on the attitudes of parents', en *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 149, 837-841, doi: 10.1016/j.jesp.2012.10.016.
- SCHOFIELD, J. W.; EURICH-FULCER, R. y BRITT, C. L. (1994): 'Teachers, computer tutors and teaching. The artificially intelligent tutor as an agent for classroom change', en *American Educational Research Journal*, 31 (3), 579-607. Doi: 10.3102/00028312031003579.
- SCHMIDT, R. A. y BJORK, R. A. (1992): 'New conceptualizations of practice: common principles in three paradigms suggest new concepts for training', en *Psychological Science*. 3, 207-217. Doi: 10.1111/j.1467-9280.1992.tb00029.x.
- SEDIGHIAN, K. y KLAWE, M. M. (1996): 'An interface strategy for promoting reflective cognition in children'. CHI 96 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, doi:177-178. 10.1145/257089.257244.
- SHEFF, D. (1993): *Game over: How Nintendo zapped an american industry, captured your dollars, and enslaved your children*. New York: Random House.
- SINCLAIR, N. y Jackiw, N. (2007): 'Dynamic geometry activity design for elementary school mathematics', en proceedings of the Seventeenth ICMI Study Conference "Technology Revisited". Hanoi, Vietnam.
- SIMATWA, E. (2010): 'Piaget's theory of intellectual development and its implication for instructional management at presecondary school level', en *Educational Research and Reviews*, 5 (7), 366-371.

- SOLOWAY, E.; GUZDIAL, M. y HAY, K. E. (1994): 'Learner-centered design: the challenge for HCI in the 21st century', en *Interactions*, 1(2), doi: 10.1145/174809.174813.
- TRAN, N.; SCHNEIDER, S.; DURAN, L.; CONLEY, A.; RICHLAND, L.; Burchinal, M. y MARTÍNEZ, M. (2012): 'The effects of mathematics instruction using spatial temporal cognition on teacher efficacy and instructional practices', en *Computers in Human Behavior*, 28 (2012) 340-349, doi:10.1016/j.chb.2011.10.003.
- TOENNIES, J.; BURGNER, J.; WITHROW, T. y WEBSTER, R. (2011): 'Toward haptic/aural touchscreen display of graphical mathematics for the education of blind students'. IEEE World Haptics Conference 2011, Istanbul, Turkey, 373-378, doi:10.1109/WHC.2011.5945515.
- VIRZI, R. A. (1992): 'Refining the test phase of usability evaluation: how many subjects is enough?', en *Human Factors*, 34(4), 457-468, doi: 10.1177/001872089203400407.
- VOGEL, J. J.; VOGEL, D. S.; CANNON-BOWERS, J.; BOWERS, C. A.; MUSE, K. y WRIGHT, M. (2006): 'Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis', en *Journal of Educational Computing Research*, 34(3), 229-243. Recuperado el 1 de febrero de 2010 desde: <http://eric.ed.gov/?id=EJ746065>
- WANKAT, P. y OREOVIC, F. S. (1993): *Teaching Engineering*. Knovel Publisher. Recuperado el 1 de marzo de 2010 desde: <https://engineering.purdue.edu/ChE/AboutUs/Publications/TeachingEng>
- WOOLFOLK, A. (2004): *Educational psychology* (novena edición). Boston, MA: Allyn & Bacon.
- XU, D. (2005): 'Tangible user interface for children: An overview'. UCLAN Department of Computing Conference, Preston, UK: University of Central Lancashire. Recuperado el 1 de enero de 2010 desde: <http://www.chici.org/publications>
- ZHANG, E.Y. y LOEB, L. (2013): 'Mobile applications: Games that transform education', Dartmouth Computer Science Technical Report TR2013-737. Recuperado el 4 de febrero de 2016 desde <http://www.cs.dartmouth.edu/reports/TR2013-737.pdf>
- ZIMMERMAN, F.; CHRISTAKIS, D. A. y MELTZOFF, A. N. (2007): 'Associations between media viewing and language development in children under age 2 years', en *Journal of Pediatrics*, 151, 364-368, doi:10.1016/j.jpeds.2007.04.071.